

# 災害調査報告書

テルハつりチェーンの破断災害

(要約版)

労働安全衛生総合研究所

## 1. 災害の概要

ガラス再生工場において、定格荷重 2 t のテルハで破砕ガラスの入った総重量約 1.7 t の鉄製かごをつり上げたところ、つりチェーンが破断し、作業者が死亡するという災害が発生した。つりチェーンが破断したテルハは、作業に供されてから 8 ヶ月と使用期間が短いうえ、常に定格荷重内で使用されていたことから、破断原因を特定する必要が生じた。そこで当該テルハの損傷と使用状況を詳細に調査するとともに、破断したつりチェーンの破断面を走査型電子顕微鏡で観察することによって、災害原因を明らかにした。

## 2. テルハの使用状況

破砕ガラスには化学物質がコーティングされているため、高温のアルカリ水溶液によって洗浄する必要があった。当該テルハはこのガラス洗浄作業に使用されていた。

洗浄作業は週に 3～4 回行われ、その手順は以下の通りである。

- (1) 破砕ガラスの入った鉄製のかごをシャックルを介してテルハでつり、洗浄槽まで移動する。
- (2) かごを高温のアルカリ水溶液が入った洗浄槽に約 15 分間浸ける。なお、洗浄中は、かごは洗浄槽上部のフックに掛けるため、つりチェーンに荷重は掛からない。
- (3) 洗浄後、再びかごをテルハで吊り上げ、水切りのため 5～10 回程度上下する。
- (4) かごをつったまま移動し、ホップと呼ばれる装置に破砕ガラスを落とす。

つりチェーンは(3)から(4)に移行する際に破断し、かごが洗浄槽に落下したため、作業者が洗浄槽の熱湯をかぶり被災したものである。

## 3. つりチェーンの破断状態およびテルハの損傷状態

### 3. 1 テルハの主な仕様

当該テルハは、巻上げ装置として荷を 1 本のチェーンでつり上げるタイプであり、定格荷重は 2 t である。図 1 に当該テルハに使用されていた物と同種の電動チェーンブロックの外観を示す。破断したつりチェーンは全長 4.68m で、その構成要素であるリンクの形状・寸法は、図 2 に示す通りである<sup>1)</sup>。なお、このチェーンの破断荷重は 125 kN (約 12.8 t) 以上であった<sup>1)</sup>。定格荷重からすると、つりチェーンの安全率は 6 以上あることになり、通常の使用で破断することは考えにくい。

この電動チェーンブロックには、図 3 に示す直動式と呼ばれる巻過防止装置が装備されている。その装置の一部として、つりチェーンには、チェーンブロック本体とフックの間に、弦巻ばねが挿入されており、上昇するフックブロックが、鎖ガイド C を介して鎖ガイド A に衝突することなく、一定の余裕を持って上限リミットスイッチを作動させる機能を担っている。



図1 当該テルハと同種のチェーンブロック外観

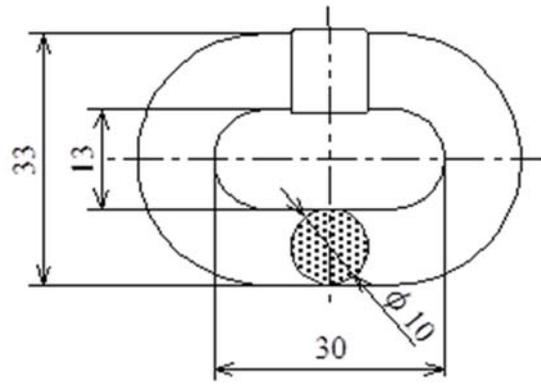


図2 破断したリンクチェーンの形状と寸法

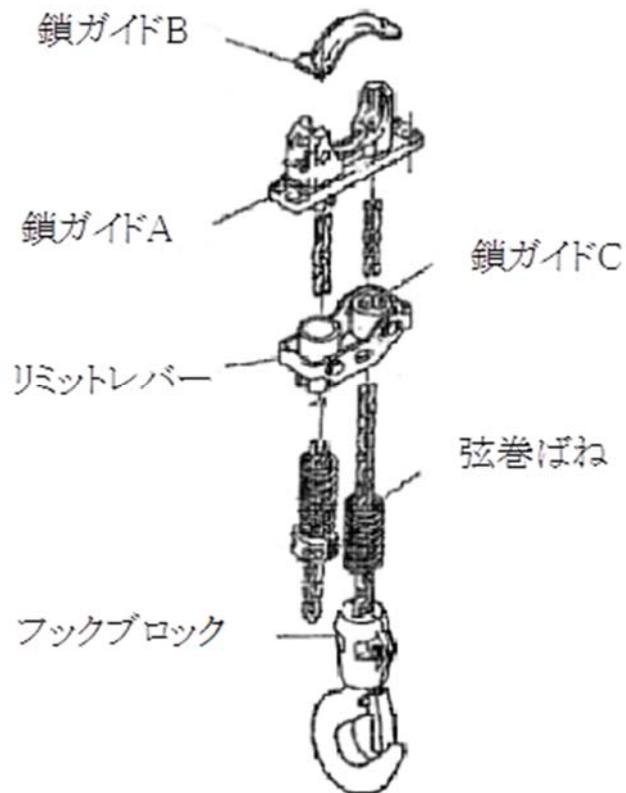


図3 過巻防止装置の分解図

### 3. 2 つりチェーンの破断状態

つりチェーンは、フックブロック側から7番目のリンクで破断していた。破断したリンクを図4に示す。リンクは平行部の溶接部近く（図中A）と肩部（図中B）の2箇所破断していた。図5にA,B両破断面の近接写真を示す。A部の破断はいわゆるカップアンドコーン型の延性的破断状態を示し、またその表面が新鮮であることから、ここでの破壊は事故時の一度の過負荷で生じたものと推定される。一方、B部の破断面はA部とは明らかに異なり、横断面方向に平坦で、リンク外側の縁のみせん断状に傾斜した破面となっている。B部は、破面全体にかなり錆が付着していたため、この錆をブランクレプリカ法<sup>2)</sup>によって除去したところ、ビーチマークが観察された（図5B部 下側破断面参照）。したがって、B部は疲労破壊したものと推定される。

上記二つの破断部の破壊様式をより正確に推定するために、それらの微視的破断面形態を走査型電子顕微鏡（SEM）により観察した。観察結果を図6に示す。図6(a)を見ると、A部の破面はほぼ全域がディンプル形態で占められており、この箇所での破壊が、事故時に作用した1回の過負荷による延性破壊であることを示している。一方B部の破面からは、軽い腐食を受けていたものの、図6(b)に示すように疲労破壊の典型的微視破面形態であるストライエーションが観察された。ストライエーションはB部破断面の平坦部分に広く見られたことから、B部が疲労破壊したことによってつりチェーンが破断したと考えられる。またB部のストライエーション間隔は、ビーチマークの観察された平坦な領域のほぼ全域にわたって5~8 $\mu\text{m}$ と非常に大きく、しかもそれらが形成された領域やそのまわりにストライエーション形成機構より高速でき裂が進展したことを示すディンプルも形成されていた。これらのことから、つりチェーンには高い負荷が繰返し作用していたと推察される。

なお、SEM観察の結果、き裂の発生領域に特に異常な欠陥は発見されておらず、このチェーンの材料は健全であったと判断される。

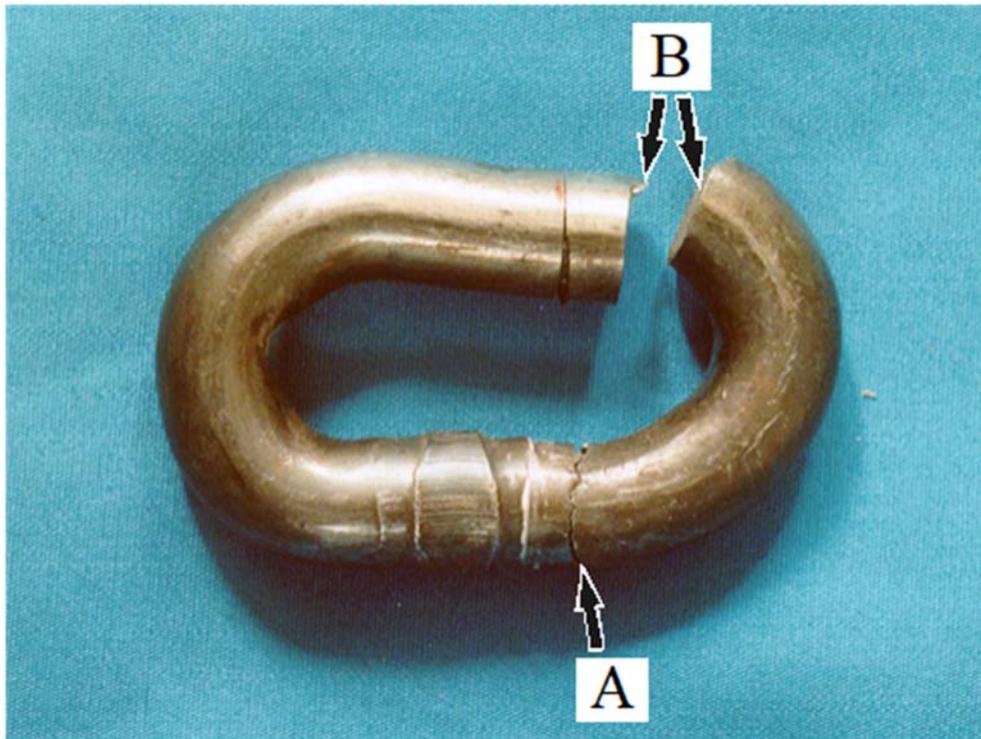
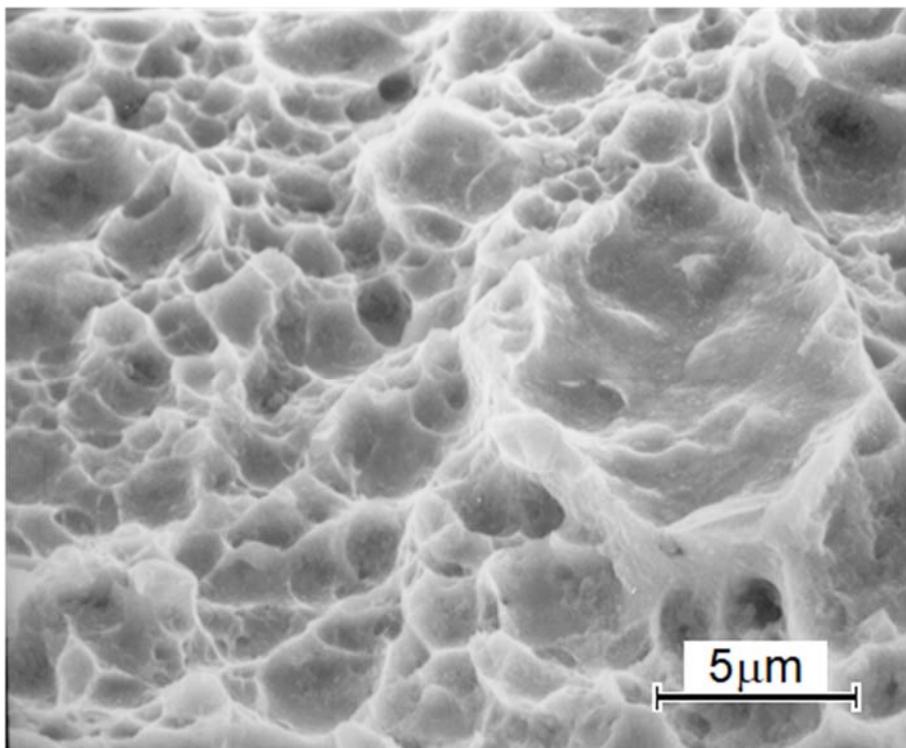


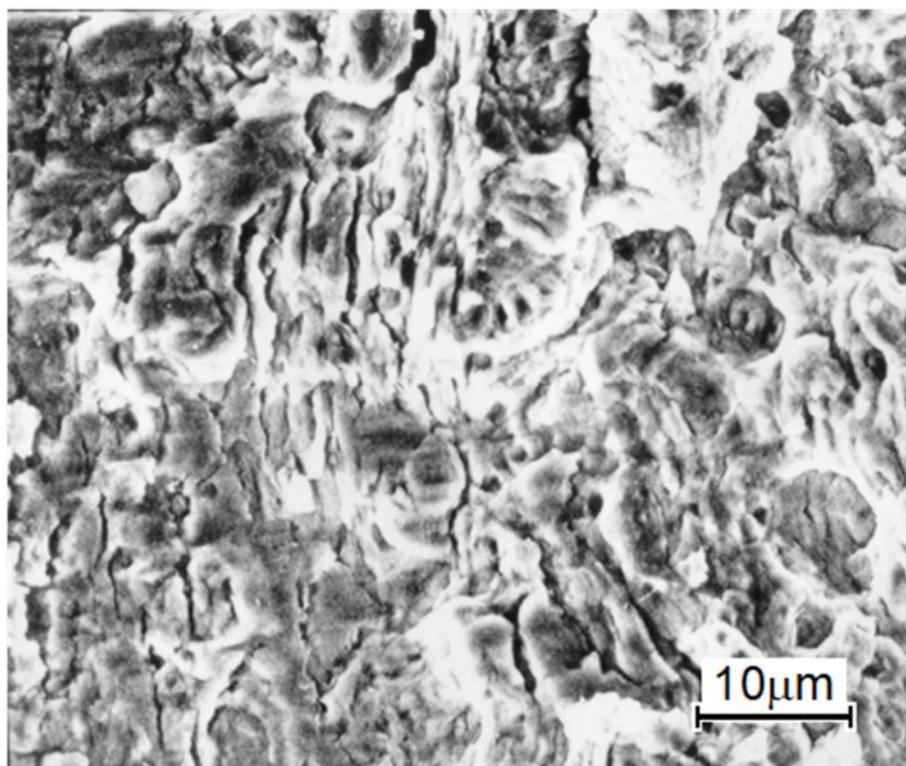
図4 チェーンリンクの破断状態



図5 チェーンリンクの破断状態（上下が対になっており，左がA部，  
右がB部の破断面，右下破断面のみ錆取りしている）



(a) A部破断面の典型的微視的破面形態（ディンプル模様）



(b) B部破断面で観察されたストライエーション模様

図6 チェーンリンク破断面のSEM観察結果

### 3. 3 チェーンブロック本体の損傷

チェーンブロック本体には、図7中に①で示す、本体下面（鎖ガイドAが固定される面）中央と、鎖ガイドAを固定するためのボルト穴②にき裂が生じていた。これは、本体ケースのこの部分に、チェーンを巻き上げるアイドルシーブの軸（図7参照）から下向きの過大な力が作用し、それを鎖ガイドAの両端で受ける3点曲げ状態が生じたことを示している。これによって、最大曲げ応力の生じる①部で割れが発生すると共に、反力を受ける鎖ガイドA端部②にボルト穴を応力集中源とする割れが生じたものと考えられる。このような損傷は荷のみによる負荷条件では、例えそれが過大な場合であっても生じない。また、リミットレバーのフック側鎖ガイドC（図3参照）の下面には、図8で①で示した場所にフックブロックが繰返し衝突したと考えられる、顕著なつぶれ変形が観察された。フックブロック上面には弦巻ばねがあり、これがリミットレバーを押し、過巻防止装置が作動するため、通常フックブロックが鎖ガイドCに衝突することはない。

なお、③に激しい擦れ傷および変形が観察されたが、傷の表面が新鮮なことから、これらは事故時に形成されたものと判断される。また、巻過防止装置に電気的な異常はなく、事故当時は正常に作動していたと考えられる。

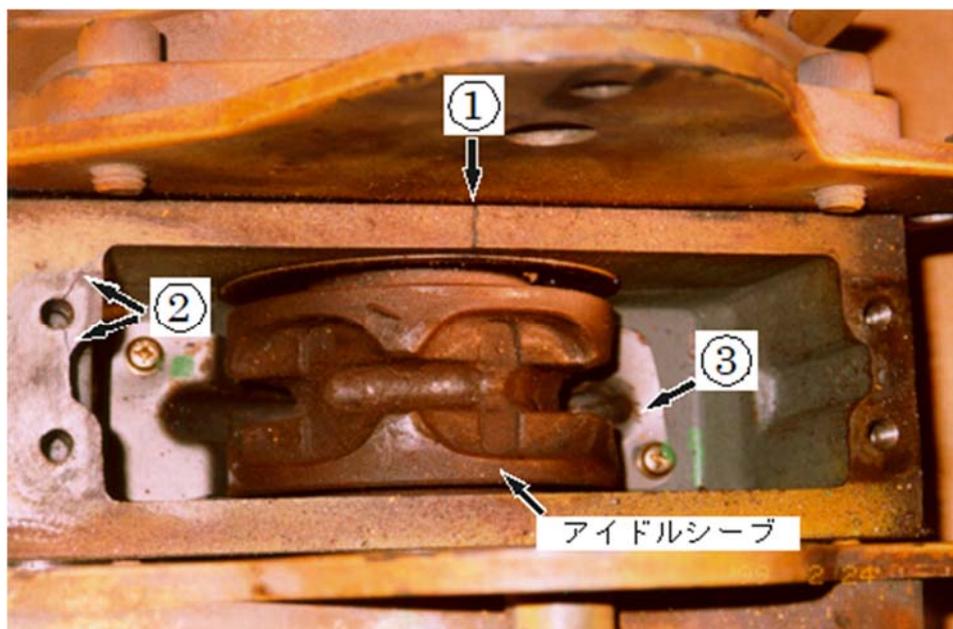


図7 チェーンブロック本体ケースの割れ

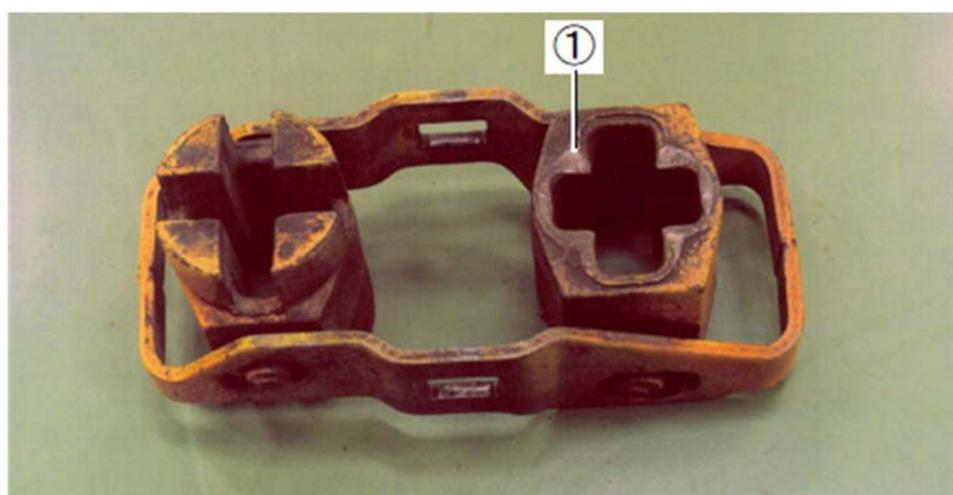


図8 リミットレバーの鎖ガイドCの下面のつぶれ損傷

#### 4. 事故原因の検討

破断したリンクの破面観察から、つりチェーンは過大な繰返し負荷を受けて疲労破壊したと考えられる。そこで、つりチェーンの疲労強度を調べるために、当該テルハと同規格のつりチェーンを用いて疲労試験を行った。疲労試験は電気油圧式サーボ試験機を使用し、つりチェーン3リンクで18本の試験体に対して行った。最小荷重と最大荷重の比 $R$ は0.1とした（現在は $R=0.2^3$ ）。疲労試験の結果を図9に示す。疲労限度は定格荷重より若干大きく、定格荷重内で使用する限り短期間で疲労破壊することはないと考えられる。また、破断したつりチェーンの破断面を当該つりチェーンの破断面と比較し、作用していた負荷を推定したところ、少なくとも約5t以上の荷重が作用していたと考えられる。

疲労き裂は一本の試験体のみ溶接止端部から発生したが、それ以外は図10に示したように、当該つりチェーンと同様にリンク肩部内側から発生した。この場所から疲労き裂が発生する原因を明らかにするために、有限要素法（FEM）による3次元弾性解析を行い、リンク内の応力分布を求めた。解析結果を図11に示す。リンクの肩部内側に最大引張り応力が発生しており、定格荷重2tが作用するとき、その大きさは約650MPaであった。したがって、溶接欠陥や材料欠陥がない限り、疲労き裂はリンクの肩部内側から発生する。

このように、SEM観察だけでなく、疲労試験およびFEMによる3次元弾性解析の結果からも、つりチェーンの破断は材料の欠陥等によるものではなく、繰返し作用した過負荷による疲労破壊であると考えるのが妥当である。

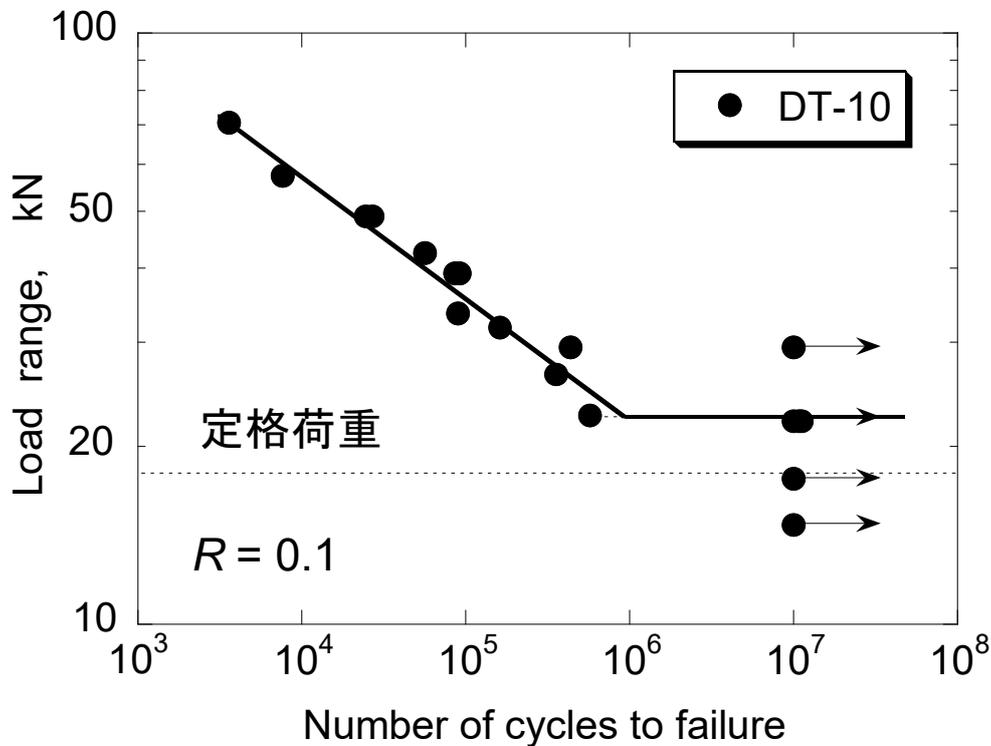


図9 つりチェーンの疲労試験結果



図 1 0 疲労試験により破断したつりチェーン

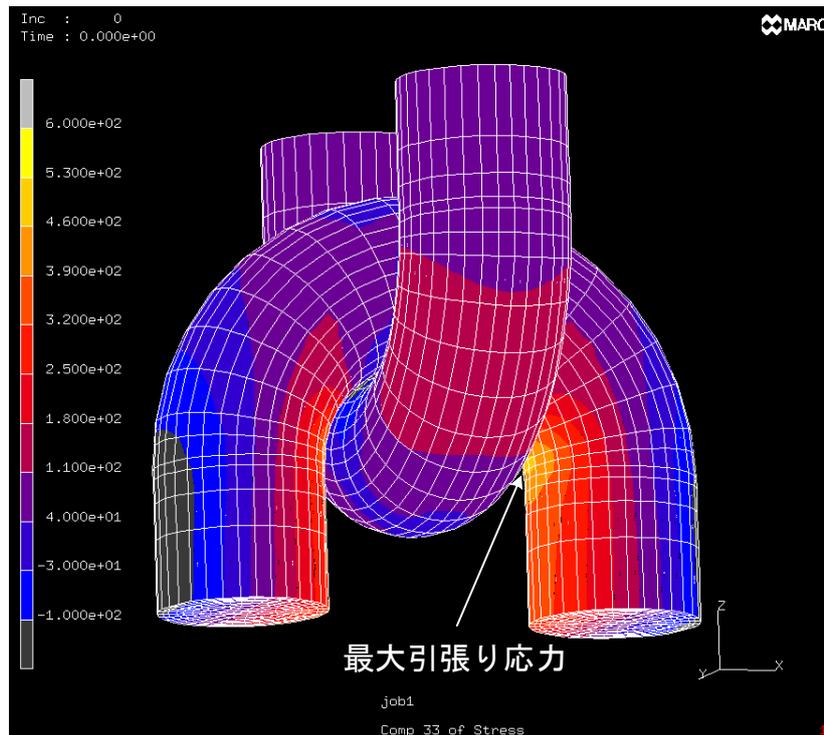


図 1 1 つりチェーンの三次元応力解析結果

次に、つりチェーンに過負荷が作用した原因について考察する。観察されたチェーンブロック本体の損傷やつりチェーンの破断位置から推察するに、フックブロックとアイドルシーブの間に過大な負荷が掛かっていたと考えられる。しかし、過巻防止装置が正常に作動した場合、フックブロックとアイドルシーブの間に荷重が作用することは考えられない。そこで、改めて当該テルハの使用状況について詳細に調査したところ、洗浄槽からホップパに移動する際の揚程が不足していたため、図3に示した、フックブロック上面の弦巻ばねを取り外し、さらに荷を吊り上げる際は、常に過巻防止装置が作動するまで巻き上げていたことが判明した。このような使い方をした場合、リミットレバーには十分な遊びがないため、図12に示すように電動機によってフックブロックと本体の間のつりチェーンに過大な負荷が生じる。つりチェーンは、このような過大な負荷を荷を吊り上げる度に繰返し受け、非常に短期間に疲労破壊したと考えられる。なお、つりチェーンが破断した位置（フックブロック側から7番目のリンク）は、弦巻ばねがないと、ちょうどつりチェーンがアイドルシーブにかかり始める位置に相当している。

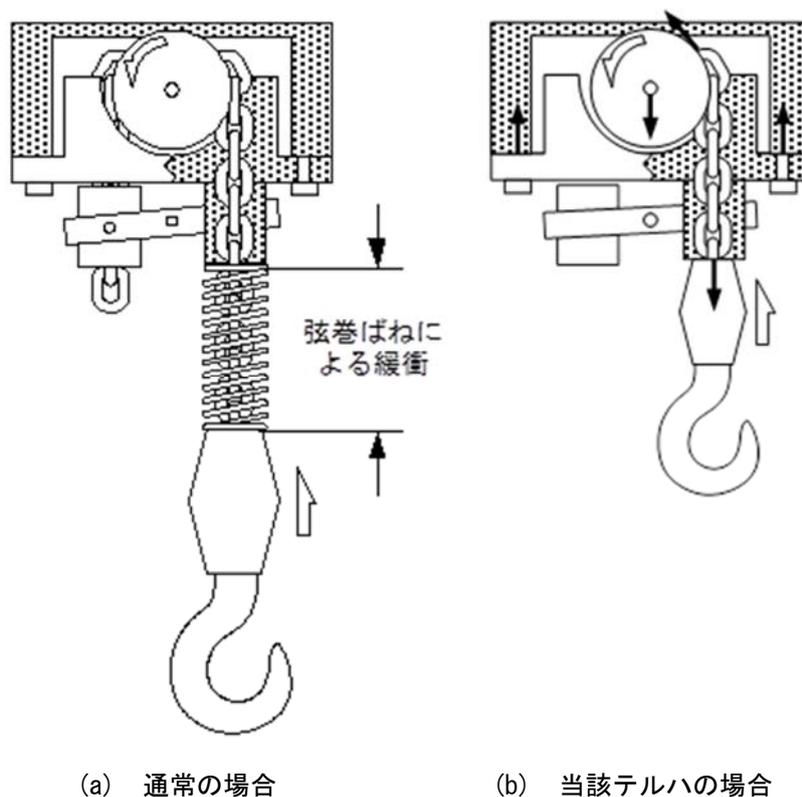


図12 過巻き防止装置が作動時の状況

## 5. 結論

ガラス再生工場において、定格荷重内で使用していたテルハのつりチェーンが、供用開始から8ヶ月で破断し、作業者が死亡するという災害が発生した。災害原因を調査したところ、当該テルハは揚程が十分に確保できなかったために、過巻防止装置の一部である弦巻ばねを取り外して使用し、かつ常時過巻防止装置を作動させて荷を巻き上げる使い方をしてきた。このため、アイドルシーブとフックブロックの間に、当該テルハの定格荷重をはるかに越える過負荷が繰り返し作用し、その結果、非常に短い期間でつりチェーンが疲労破壊したものと考えられる。

## 6. 再発防止策

クレーン構造規格<sup>4)</sup>では、直動式の過巻防止装置にあつては、フック等つり具の上面と当該上面が接触するおそれがある物の下面の間が0.05 m以上になるよう調整できることが定められている。したがって、フック上面の弦巻ばねを取り外して使用することは、フックの上面とリミットレバー下面が接触することになり、これに違反する。また電動チェーンブロックの取扱説明書には、過巻防止装置を常時使用して停止するような使い方はしないよう注意書きがあつたにもかかわらずこれが守られていなかった。

以上より、同種災害の再発防止には、事業者は法令に違反する改造を行わないことと、装置は取扱説明書に従って正しく使用することが必要である。なお、当該事業所ではテルハ作業者に対してクレーン運転特別教育を行っていなかったことも判明しており、法令に基づく適切な安全教育を行うことも必要である。

## 参考文献

- 1) 日本規格協会, JIS ハンドブック (物流), 1999, p.1006.
- 2) 小寺沢良一, フラクトグラフィとその応用, 1981, p.293, 日刊工業新聞社.
- 3) 日本規格協会, JIS B8812:2004 チェーンブロック用リンクチェーン.
- 4) 労働省告示第134号, クレーン構造規格第25条第二項.